

Т.І. Стругай, наук. спів.

Первомайський державний науково-інженерний центр з проблем ресурсозбереження та енергозбереження

Визначення гранично припустимих температур нагрівання зерна при кондуктивно-конвективному способі сушіння насіння зернових культур

Використання кондуктивно-конвективного способу зневоднення насіння зернових культур забезпечує первинний прогрів і стабілізацію температури шарів матеріалу на протязі першого і другого періодів сушіння, що дозволяє підвищити температуру сушіння та скоротити терміни сушіння. При реалізації цього процесу підвищується схожість насіння зернових і олійних культур, кукурудзи та збільшується енергетичний коефіцієнт корисної дії сушильної установки.

спосіб, зневоднювання, насіння, зерно, прогрів, температура, пласт, матеріал, період, сушіння, експозиція

В системі післязбиральної обробки зернових, олійних культур і кукурудзи сушіння насіння і зерна проводиться з метою запобігання розвитку біохімічних процесів, що викликають зниження їхньої цінності і псування в період зберігання. Внаслідок чого для збереження біологічної цінності, технологічних властивостей і збереження структурно-механічних характеристик насіння зернових культур і кукурудзи в процесі сушіння матеріалу існує потреба обґрунтування раціонального режиму сушіння і вибору параметрів сушильної установки.

Умовою виходу з економічної кризи сільського господарства є збільшення обсягів тваринницької продукції і зниження витрат на виробництво кормів, що зумовлює актуальність використання в кормових раціонах злако-бобових культур, зерна кукурудзи і сої [1]. Але реалізація цих заходів стримується малими обсягами кондиційного насінного зерна районованих сортів, виробництво яких стримується через високу енергонасиченість процесу сушіння в системі післязбиральної обробки і збереження.

Матеріал, який поступає після збирання з поля на токи сільськогосподарських підприємств, хлібоприймальні і заготівельні підприємства, має вологість значено більше критичної (до 70-80%), що зумовлює проведення процесу сушіння в системі післязбиральної обробки насіння зернових, олійних культур і кукурудзи [2]. На існуючих конвективних сушарках ДСП-32, СЗШ-16, ЗСПЖ-8 температура сушильного агента обумовлена гранично припустимою температурою нагрівання зерна: так для кукурудзи вона складає за даними С.Д. Птиціна 35-40°C при поточній вологості матеріалу 35% і вище [3].

Більшість дослідів по сушінню і вентиляванню насіння зернових культур і кукурудзи не передбачали даних по застосуванню у значних масштабах кондуктивно-конвективних режимів сушіння і проводилися в непорівнянних умовах. Внаслідок чого, незважаючи на теоретичне обґрунтування технологічної досконалості процесу, виконаного І.Д. Красніковим [4] і доцільність прогрівання зерна перед сушінням, виконаним докт. техн. наук В.І. Алейніковим (Академія харчових технологій, м. Одеса) [5], цей процес із-за складнощів його реалізації не знайшов поширення через значну втрату посівних якостей насіння зернових, олійних культур і кукурудзи.

Актуальність впровадження ресурсозберігаючих і енергозберігаючих технологій в агропромисловому комплексі України при енергетичній кризі зумовлює застосування імітаційного моделювання для використання отриманих даних по розвитку процесів зневоднення сільськогосподарських матеріалів на стадії проектування сушарки [6]. При моделюванні проводиться визначення критеріїв оптимізації і визначення шляхів інтенсифікації процесу зневоднення сільськогосподарських матеріалів [7], за умов забезпечення вірогідності даних досліджень за рахунок використання методів статистичної механіки. При цьому зміни стану системи матеріал – сушильний агент представляється як наслідок розвитку явищ, що лежать в основі досліджуваних процесів, для характеристики яких використовуються фундаментальні закони термодинаміки і механіки суцільного середовища. Математичні розрахунки змін властивостей агента і матеріалу [8], що використовується при цьому для структурного спрощення, приводить у ряді випадків до громіздких моделей процесів, які складно використовувати при проектуванні. Більш придатний до використання в системі імітаційного моделювання процесів сушіння сільськогосподарської сировини математичний апарат побудований на теорії масопереносу акад. А.В.Ликова [9]. Цей спосіб забезпечує відсутність істотних розбіжностей між прогнозованими даними і отриманими при випробуваннях. Складові розрахунки процесів сушіння термолабільних матеріалів в умовах вологого і гігроскопічного стану на поверхні, що висушується при постійних і змінних режимах, враховують особливості різних геометричних форм [10] і представлені у вигляді блоків – комплексів [11], що дозволяє застосувати їх на ПЕОМ для розгляду процесу моделювання. Умови придатності устаткування сушарок до експлуатації в сільськогосподарському виробництві визначаються на методологічній основі акад. Л.В.Погорілого [6].

Визначення перехідних характеристик стану зерна і насіння зернових, олійних культур і кукурудзи в силу стабільності характеристик надсистеми – мобільної сушарки, вимагає при створенні нових чи модернізації існуючих сушарок стабілізації та не погіршення експлуатаційних показників. При цьому на одних режимах показники процесу конвективного зневоднення поліпшуються, а на інші - погіршуються.

Вирішення поставленої задачі відповідності цільової функції, у матриці якої представлені коефіцієнти витрат палива і електричної енергії, які відповідають граничним умовам кваліметричних характеристик стану матеріалу – біологічним властивостям (граничній температурі нагрівання матеріалу), технологічній досконалості процесу конвективного зневоднення та економічній доцільності використання мобільної сушарки, дозволяють встановити умови забезпечення отримання раціональних залежностей параметрів матеріалу і сушильного агента, зведених у раціональні режими сушіння матеріалу.

При проведенні аналізу процесу видалення вологи при змінних режимах процесу сушіння сільськогосподарських матеріалів встановлено, що в залежності від режиму сушіння і форми зв'язку матеріалу, волога в зерні переміщається в рідкому і пароподібному стані [7]. З потоком рідини переносяться і перерозподіляються водорозчинні речовини. Раціональні режими сушіння дозволяють забезпечити умови, при яких волога в зерні пересувається в основному у виді рідини і паротворення відбувається на поверхні контакту зерна з середовищем – сушильним агентом. Умовою раціоналізації режиму сушіння є умови технологічної досконалості, за яких не відбувається істотного поглиблення зони випару усередині тіла і пересушування зовнішніх шарів, при яких починає виділятися сорбційно-пов'язана волога, без впливу температури нагрівання насіння на основні споживацькі характеристики насіння – посівну здатність. Біологічна будова зерна і насіння зумовлює необхідність

скорочення розриву між швидкостями процесів внутрішнього підведення рідини до поверхні зерна і вологовіддачі в навколишнє середовище [11].

Реалізація процесу кондуктивно-конвективного зневоднення залежить від великої кількості параметрів як матеріалу, так і сушильного агента, тому при його реалізації необхідно визначити основні з них, що впливають на швидкість і механізм видалення вологи при сушінні, з урахуванням біохімічних і фізико-механічних властивостей матеріалу [12]. При сушінні зерна і насіння зернових, олійних культур та кукурудзи найбільш характерним параметром є температура нагрівання зерна [13].

Умови енергетичної ефективності застосування мобільних сушарок потребують збільшення температури агента сушіння [14]. Однак використання цього параметра викликає протиріччя з біологічною природою насіння і значно обмежує можливість його реалізації. Тому більш доцільно використати властивість матеріалу – термостійкість зерна при створенні ступеневого режиму сушіння. Для цього, використавши дані досліджень док. техн. наук В.І. Алейникова [5], матеріал у зону сушіння подається попередньо підігрітим за рахунок безпосереднього контакту з подом мобільної сушарки.

При конвективному способі сушіння $\nabla T = const$, внаслідок чого, при відповідності параметрів режиму сушіння поточній вологості [13], капілярно-пориста структура не змінюється і волога, відведена у оболонку зерна відводиться сушильним агентом під впливом потенціалу $E = t^M - t^C$ [14]. Механізм відведення вологи з оболонки зерна згідно даних експерименту інший. Так, під впливом температури капіляри зерна закриваються і всередині зерна збільшуються напруження внаслідок збільшення тиску пароподібної вологи під впливом температури по всьому об'єму окремого зерна матеріалу.

Дійсне температурне поле тіла може бути представлено як алгебраїчна сума двох полів: *реального температурного поля*, яке існує при відсутності контакту зерновки з подом сушарки, і *поля кондуктивної складової загального температурного поля*. Температура, що вимірюється термозондом у середині зернівки ячменю, є таким чином результатом складення цих двох полів і буде нижче або вище реальної температури в залежності від напрямку теплового потоку при впливі на стан зерновки процесу конвективного зневоднення.

Розглянемо зернівку ячменю у вигляді циліндра, що нагрівається тепловим потоком $\sum_D Q$ постійної потужності. Як видно з рис.1, з нижньої поверхні тіло нагрівається від контакту з подом сушарки, а бокової поверхні тіло нагрівається за рахунок конвективної тепловіддачі, значення якої змінюється в залежності від першого або другого періоду процесу зневоднення по радіусу площини контакту r . З врахуванням наведеного, тепловий потік по термозонду зернівки ячменю складає:

$$q_K = q_3(r). \quad (1)$$

Вказаний тепловий потік також залежить від координати точки поверхні теплообміну X , тому що на температуру поверхні t_{Π} і коефіцієнт тепловіддачі α_F впливає температурне поле кондуктивної складової температури. Коефіцієнт тепловіддачі розраховується по дійсній температурі поверхні t_{Π} .

Припустивши, що тепловіддача у сушильний агент при умові $t_{\Pi} > t_{c.a.}$ з бокової поверхні тіла визначається питомим тепловим потоком [4]:

$$q_F(r) = \frac{\alpha_F}{t_F}, \quad (2)$$

де q_F – питомий тепловий потік, Вт;
 r – радіус бокової поверхні тіла, м;
 α_F – коефіцієнт тепловіддачі на поверхні тіла, Вт/м²град;
 t_F – температура поверхні тіла, °K.

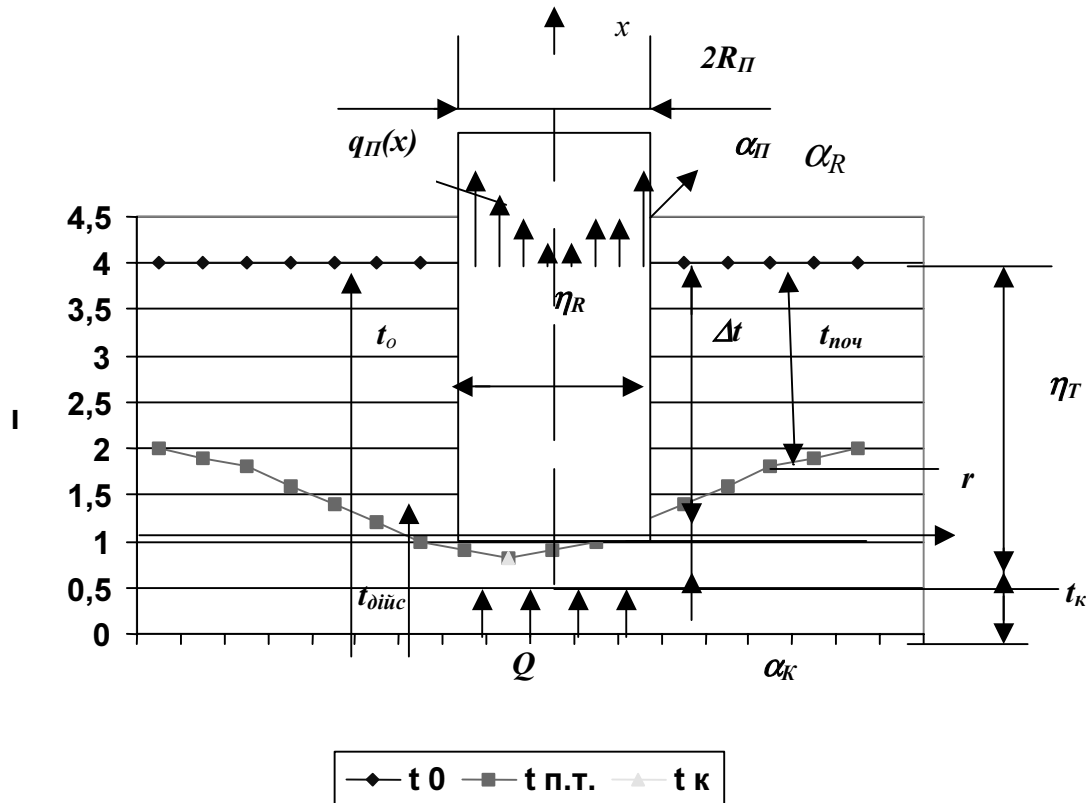


Рисунок 1 – Розподіл теплових потоків і температурних полів на виділеній поверхні зернівки ячменю при конвективному способі сушінні в умовах контакту з подом сушарки.

При цьому значення температурного поля тіла визначається з рівняння теплопровідності з граничними умовами [5]:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0; \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \left[\frac{\partial t}{\partial r} + h_R t \right]_{r=R_T} &= 0; \quad t|_{r=0} < \infty; \\ \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} &= - \frac{Q}{\lambda_T} \Big|_{r \leq R_T}; \\ \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} &= - \frac{q_T(r)}{\lambda_T} \Big|_{r \leq R_T} - \frac{q_П(r)}{\lambda_T} \Big|_{\leq R_П r \leq R_T} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де h_R - висота зернівки, $h_R = \alpha_R / \lambda_T$, м;

α_R - коефіцієнт тепловіддачі з бокової поверхні циліндра, Вт/м²град;

λ_T - коефіцієнт теплопроводності циліндра (зернівки ячменю), Вт/(м °K).

Як видно з граничних умов (3), тепловіддача за рахунок процесу конвекції при взаємодії сушильного агента і поверхнею зерновки, представлена у вигляді тіла

циліндричної форми (далі циліндра) враховується, як тепловий потік $q_3(r)$ направлений через поверхню контакту виділеної площі циліндру - F_1 при взаємодії з поверхнею сушильної установки і з сушильним агентом через іншу поверхню теплообміну - F_2 . Значення загальної теплової потужності потоку (η , Вт/м²) [13] встановлюється по визначених умовних поверхнях переносу [15]. При цьому температурне поле, яке створюється в циліндрі тепловим потоком при контакті з подом сушарки складає $q_K = \alpha_K t_K F_K$ і представляє поле кондуктивної складової загального теплового потоку.

Рішення цієї математичної задачі може бути представлено у вигляді:

$$\begin{aligned}
 t = 2 \frac{Q R_T}{\lambda_T} \sum_{\eta=1}^{\infty} \frac{J_1(\psi_\eta) J_0\left(\psi_\eta \frac{r}{R_T}\right) \left\{ \exp\left[\psi_\eta \left(\frac{l_T}{R_T} - \frac{x}{R_T}\right)\right] + \right.}{\psi_\eta^2 J_0^2\left(\psi_\eta \left(1 + \frac{h_R^2 R_T^2}{\psi_\eta^2}\right)\right) \left\{ \exp\left(\psi_\eta \frac{l_T}{R_T}\right) - \right.} \rightarrow \\
 \left. \left. + \exp\left[\psi_\eta \left(\frac{l_T}{R_T} - \frac{x}{R_T}\right)\right] \right\} \right\}}{-\exp\left(-\psi_\eta \frac{l_T}{R_T}\right)} - \sum_{\eta=1}^{\infty} \frac{2J_0\left(\psi_\eta \frac{l_T}{R_T}\right)}{R_T \lambda_T J_0^2\left(\psi_\eta \left(1 + \frac{h_R^2 R_T^2}{\psi_\eta^2}\right)\right) \psi_\eta} \times \\
 \times \frac{\exp\left(\psi_\eta \frac{x}{R_T}\right) + \exp\left(-\psi_\eta \frac{x}{R_T}\right)}{\exp\left(\psi_\eta \frac{l_T}{R_T}\right) - \exp\left(\psi_\eta \frac{l_T}{R_T}\right)} \frac{R_T}{0} \int_0^{R_T} q_F(r) r J_0\left(\psi_\eta \frac{r}{R_T}\right) dr - \\
 - \sum_{\eta=1}^{\infty} \frac{2J_0\left(\psi_\eta \frac{r}{R_T}\right)}{R_T \lambda_T J_0^2\left(\psi_\eta \left(1 + \frac{h_R^2 R_T^2}{\psi_\eta^2}\right)\right) \psi_\eta} \times \\
 \times \frac{\exp\left(\psi_\eta \frac{x}{R_T}\right) + \exp\left(-\psi_\eta \frac{x}{R_T}\right)}{\exp\left(\psi_\eta \frac{l_T}{R_T}\right) - \exp\left(\psi_\eta \frac{l_T}{R_T}\right)} \frac{R_F}{0} \int_0^{R_F} [q_F(r) r J_0\left(\psi_\eta \frac{r}{R_T}\right) dr - \\
 - q_{п.т.}(r)] r J_0\left(\psi_\eta \frac{r}{R_T}\right) dr, \quad (4)
 \end{aligned}$$

де J_0 и J_1 - функція Бесселя першого роду нульового і першого порядку.

Значення ψ_η визначаються з характеристичного рівняння:

$$\frac{J_1(\psi_\eta)}{J_0(\psi_\eta)} = \frac{h_R R_T}{\psi_\eta}. \quad (5)$$

В (4) індекси: потоків тепла - п.т.; поверхні контакту зерновки і поду сушарки F та циліндра з сушильним агентом - T ; η - теплова потужність потоків.

В (3) перші два члена в правій частині представляють результат міжгрупової взаємодії у вигляді реальної температури циліндра, яка обумовлена співвідношенням між тепловим потоком Q і відтоком тепла за рахунок конвективної тепловіддачі - $q_{п.т.}(r)$ при відсутності потоку тепла в циліндрі. Зменшення теплового потоку $q_F(r)$ на величину відтоку тепла за рахунок конвективної тепловіддачі у перший період зневоднення - $q_{п.т.}(r)$ дозволяє визначити конвективну тепловіддачу по всій поверхні, включаючи поверхню контакту з подом сушарки і відтоком тепла за рахунок конвективної тепловіддачі - $q_{п.т.}(r)$. Значення, характеризуючи температуру контакту з подом сушарки, обумовлені впливом теплового потоку створеного в циліндрі $q_F(r)$, зменшені на величину питомого конвективного теплового потоку $q_{п.т.}(r) = Q/F$.

Рішення задачі виконується при інших граничних умовах:

$$\left. \begin{aligned} \left. \frac{\partial t}{\partial r} + h_R t \right|_{r=R_T} &= 0; \quad t|_{r=0} < \infty; \\ \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} &= - \frac{Q}{\lambda_T} \Big|_{r \leq R_T}; \\ \frac{\partial t}{\partial x} + h_F t \Big|_{x=l_T} &= - \frac{q_F(r) - q_{п.т.}(r)}{\lambda_T} \Big|_{r \leq R_F} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\text{де } h_F = \alpha_F / \alpha_T.$$

В (6) член $h_F t$ представляє дію конвективної тепловіддачі на поверхню, розповсюджену на поверхню тіла (зернівки) за умов взаємодії з сушильним агентом та врахуванням впливу того фактора, що тепловий потік по тілу (зерновки) у першому періоді сушіння зменшується на величину $q_{п.т.}(r)$. При цьому:

$$t = 2 \frac{Q R_T}{\lambda_T} \sum_{\eta=1}^{\infty} \frac{J_1(\psi_\eta) J_0\left(\psi_\eta \frac{r}{R_T}\right)}{\psi_\eta^2 J_0^2(\psi_\eta) \left(1 + \frac{h_R^2 R_T^2}{\psi_\eta^2}\right)} \times$$

$$\begin{aligned}
& \frac{(\psi_{\eta} + h_F R_T) \exp\left[\psi_{\eta} \left(\frac{l_T}{R_T} - \frac{x}{R_T}\right)\right] + (\psi_{\eta} - h_F R_T) \exp\left[-\psi_{\eta} \left(\frac{l_T}{R_T} - \frac{x}{R_T}\right)\right]}{(\psi_{\eta} + h_F R_T) \exp\left(\psi_{\eta} \frac{l_T}{R_T}\right) - (\psi_{\eta} - h_F R_T) \exp\left(-\psi_{\eta} \frac{l_T}{R_T}\right)} \times \\
& \sum_{\eta=1}^{\infty} \frac{2J_0\left(\psi_{\eta} \frac{r}{R_T}\right)}{R_T \lambda_T J_0^2(\psi_{\eta}) \left(1 + \frac{h_R^2 R_T^2}{\psi_{\eta}^2}\right)} \times \\
& \frac{\exp\left(\psi_{\eta} \frac{x}{R_T}\right) + \exp\left(-\psi_{\eta} \frac{x}{R_T}\right)}{(\psi_{\eta} + h_F R_T) \exp\left(\psi_{\eta} \frac{l_T}{R_T}\right) - (\psi_{\eta} - h_F R_T) \exp\left(-\psi_{\eta} \frac{l_T}{R_T}\right)} \times \\
& \times \int_0^{R_F} [q_F(r) - q_{п.т.}(r)] r J_0\left(\psi_{\eta} \frac{r}{R_T}\right) dr, \tag{7}
\end{aligned}$$

де значення ψ_{η} визначаються рівнянням (5).

В правій частині (7) перший член характеризує стабілізацію температури шарів матеріалу на протязі першого і другого періодів сушіння, другий – кондуктивну складову прогрівання матеріалу перед сушінням. З приведених рішень слідує, що при умовах $q_g(r) = q_{п.т.}(r)$ температурне поле, яке створюється кондуктивною складовою и абсолютна похибка розрахунків теплового потоку, визначена по методу [8], буде дорівнювати нулю.

При незначному температурному напорі при раціональних режимах сушіння $\Delta t = t_T - t_F$ питомий тепловий потік $q_{п.т.}(r) \ll q_F(r)$ в розрахунках не враховується і тому в третьому члені (4) можливо прийняти, що $q_{п.т.}(r) = 0$.

Похибка у розрахунку значень зміненого температурного поля у цієї задачі можуть бути знайдені із рішення рівняння теплопроводності (2), з граничними умовами (6), за виключенням умов:

$$\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} = - \left. \frac{Q}{\lambda_T} \right|_{r \leq R_T}, \tag{8}$$

яке може бути замінено тотожним виразом тому, що змінене температурне поле у цьому випадку не розглядається:

$$\left. \frac{\partial t_0}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \tag{9}$$

Змінене температурне поле визначається виразом, аналогічному другому члену рівняння (7).

З даних розрахунків випливає, що при виборі режимів сушіння: прогрівання матеріалу перед сушінням і стабілізацію температури шарів матеріалу на протязі першого і другого періодів сушіння необхідне визначення коефіцієнтів тепловіддачі поверхні поду сушарки $\alpha_{\text{п}}$ і зернівки $\alpha_{\text{з}}$, а також коефіцієнтів теплопроводності циліндра $\lambda_{\text{т}}$ і потоків сушильного агента $\lambda_{\text{г}}$ визначаються з врахуванням реальної температури. При цьому на контактуючій з подом сушарки поверхні тіла підтримується задана температура $t|_{x=0} = t_0$, а при визначенні температури у першому і другому періоді сушіння матеріалу необхідно враховувати умови - $t_{\text{вих}}|_{x=0} = 0$.

Межі гранично припустимої температури для різних режимів сушки визначені у відповідності з біологічними властивостями матеріалу і відповідають умові: $t_x \leq [\theta_{\text{м}}]$. Значення $[\theta_{\text{м}}]$ приймається по даним С.Д. Птиціна [3], В.А.Алейникова [14]; -

Запропонована методика визначення гранично припустимих температур нагрівання матеріалу при кондуктивно - конвективному способі сушіння насіння зернових культур забезпечує отримання раціональних залежностей параметрів матеріалу і сушильного агента, зведених у раціональні режими сушіння матеріалу і була використана при розробці конструкції мобільної сушарки – МС-6 “EMS-Ефект”.

По даним порівняльних випробувань технічних засобів: мобільної сушарки МС-6 “EMS-Ефект”, продуктивністю 6,0 т/год і ЗСПЖ – 8 показав, що був забезпечений вибір доцільних режимів кондуктивно-конвективного зневоднення і встановлені її експлуатаційні параметри, що дозволить організувати дрібносерійний випуск сушарки на виробничій базі ТОВ “EMS-Ефект” (м. Первомайськ). Впровадження технології кондуктивно-конвективного зневоднення дасть змогу зменшити питому трудоемність на 12%, підвищити посівну здатність і технологічну якість матеріалу за рахунок відповідності режимів сушіння при поточній вологості матеріалу по всій траєкторії взаємодії матеріалу і сушильного агента, дає можливість зменшити якісні втрати матеріалу в процесі кондуктивного прогрівання матеріалу до 4%. Застосування раціональних технологічних режимів сушіння при поточній вологості процесу зневоднення із врахуванням граничних температур зневоднення та властивостей матеріалу – термостійкості, теплопроводності, температуропроводності забезпечує підвищення схожості насіння зернових і олійних культур, кукурудзи і дозволяє при використанні насіннєвого матеріалу отримати збільшення врожайності: пшениці озимої - на 6,4%, пшениці ярої – на 9,2%, ячменю озимого - на 5,6%, ячменю ярого – на 4,3%, соняшника – на 2,1% та кукурудзи – на 3,7%. При випробуваннях були визначенні параметри мобільної сушарки: граничний і мінімальний термін зневоднення, продуктивність, коефіцієнт корисної дії сушильної установки, питомі витрати сушильного агента, палива та електричної енергії за умови забезпечення стабілізації якісних показників об’єкту–матеріалу при застосуванні технології кондуктивно-конвективного зневоднення у технічному засобі - мобільної сушарки МС-6 “EMS-Ефект”.

Таким чином, використання кондуктивно-конвективного способу зневоднення насіння зернових культур забезпечує первинний прогрів і стабілізацію температури шарів матеріалу на протязі першого і другого періодів сушіння, що дозволяє, підвищити температуру сушіння та скоротити терміни сушіння. При реалізації цього процесу підвищується схожість насіння зернових і олійних культур, кукурудзи та збільшується енергетичний коефіцієнт корисної дії сушильної установки.

Список літератури

1. Теленгатор М.А., Уколов В.С., Цециновский В.М. Обработка семян зерновых культур.– М.: Колос, 1972.– 270 с.
2. Ермилов Г.Б. Полевая всхожесть семян и причины ее снижения. - М., Минзаг РСФСР, 1960, 256 с.
3. Птицин С.Д. Влияние механических и тепловых воздействий на зерно кукурузы, "Вестник сельскохозяйственной науки" N 8, изд. МСХ СССР, М.: 1959.
4. Гинзбург А.С. Основы расчета и техники сушки пищевых продуктов. - М.: Пищепромиздат, 1973. – 528 с.
5. Алейников В.И., Аниськин В.И., Хосев К.В. Особенности энергосберегающей сушки початков кукурузы // "Селекция и семеноводство", 1983, № 5. – С.55-59.
6. Погорелый Л.В. Инженерные методы исследований сельскохозяйственных машин.- К.: Техника, 1981, 271 с
7. Гинзбург А.С., Дубровский В.П., Казаков Е.Д., Окунь Г.С. Влага в зерне. - М.: Колос, 1969. – 224 с.
8. Есаков Ю.В., Мильман И.Э., Шевцов В.В., Каткова О.Н., Резков В.А. К описанию динамики процесса сушки зерна в плотном слое при жестких режимах. М.: ВИМ, 1972.
9. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. - Минск, Изд. АН БССР, 1959. - 126 с.
10. Котов Б. І., Кирницький С. Р. Результати порівняльного аналізу технологічної ефективності сушіння качанів кукурудзи у прямотечії і протитечії // "Бюлетень наукових праць Прибужжя", № 2, 2004. – С. 32-42.
11. Птицин С.Д. Влияние механических и тепловых влияний на зерно кукурузы / Вестник сельскохозяйственной науки N 8, изд. МСХ СССР, 1959.
12. Котов Б.І., Кирницький С.Р., Навоев С.О., Гриб С.М. Оптимізація загальних характеристик сушарки для зерна і насіння кукурудзи методом імітаційного моделювання / Вібрації у техніці і технології, 2003, № 1.- С.24-32.
13. Гришин М.А., Анатазевич В.И., Семенов Ю.Г. Установки для сушки пищевых продуктов. - М.: Агропромиздат, 1989. - 216 с.
14. Кирницький С., Будзировский В., Мильман И. Оптимизация сушки семян в противоточной сушильной установке / Техніка АПК, № 6-7, 1999. – С.14-16.

Использование кондуктивно-конвективного способа обезвоживания семян зерновых культур обеспечивает первичный прогрев и стабилизацию температуры пластов материала на протяжении первого и второго периодов сушки, что позволяет повысить температуру сушки и сократить экспозицию. При реализации этого процесса повышается всхожесть семян зерновых и масличных культур, кукурузы и увеличивается энергетический коэффициент полезного действия сушильной установки.

Use conduction - an convection of the way of the dehydration seed corn cultures provides primary having warmed up and stabilization of the temperature layer material on length first and the second period of the drying that allows to raise the temperature of the drying and reduce the time of the drying. Similarity seed corn increases At realization of this process and oil cultures, corns and increases the energy coefficient of efficiency dry installation.

Одержано 08.11.06